

Дудніков О.М., к.т.н., Пархоменко К.О.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПІШОХІДНОГО РУХУ В СВІТЛОФОРНОМУ РЕГУЛЮВАННІ НА МІСЬКИХ ПЕРЕСІЧЕННЯХ НА ОДНОМУ РІВНІ

Сформульовано підходи до врахування кінематичних характеристик пішохідного руху на перехрестях доріг на одному рівні зі світлофорним регулюванням, де наявна або відсутня пішохідна фаза. Уточнено відповідну методику, яка враховує кінематичні характеристики руху пішохідних потоків на площі перехрестя зі світлофорним регулюванням у розрахунках транспортних та пішохідних фаз.

Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішуються

Стан безпеки руху в Україні вважається найгіршим в Європі. За результатами обробки статистичних даних 75 % всіх дорожньо-транспортних пригод (ДТП) відбувається на пересіченнях, з них 30 % відбувається на пересіченнях зі світлофорним регулюванням [1].

Більшість дослідників основною причиною аварійності називають неправомірну поведінку водіїв, посиляючись на офіційні дані статистики дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Зокрема, А.О. Собакарь на основі аналізу таких даних зробив висновок, що з вини водіїв транспортних засобів відбувається більша частина ДТП – близько 70 % від загальної кількості, 25 % – з вини пішоходів та 5 % – з інших причин [2]. Характерним є також те, що з усієї кількості ДТП 70 % виникає на території вулично-дорожньої мережі міста. У свою чергу, аналіз статистичних даних свідчить, що серед ДТП у містах 75 % відбувається на перехрестях [3].

Зазначені дані статистики вказують на актуальність рішення наукових задач, що пов'язані з проблемою забезпечення безпеки дорожнього руху, насамперед, в області пересічень доріг зі світлофорним регулюванням. Вирішення проблеми забезпечення належного рівня безпеки дорожнього руху неможливе без відповідної організації пішохідного руху при світлофорному регулюванні.

Аналіз останніх досліджень

Сучасні методики організації пішохідного руху при окремій фазі пішохідного руху у трьохфазному світлофорному регулюванні передбачають використання рекомендацій Кременця Ю.А. [1], який пропонує проведення наступних розрахунків:

$$t_n^0 = 5 + \frac{B_n}{V_n}, \quad (1)$$

$$t_n^n = \frac{B_n}{4 \cdot V_n}, \quad (2)$$

де t_n^0 – тривалість основного такту пішохідної фази в трьохфазному світлофорному регулюванні, с;

B_n – ширина проїзної частини, що перетинається пішоходами у фазі регулювання, м;

V_n – розрахункова швидкість пішоходів, м/с, (запропоновано у [1], приймати рівною 1,3 м/с)

t_n^n – тривалість проміжного такту пішохідної фази у трьохфазному світлофорному регулюванні, с.

Проведений детальний аналіз залежностей (1) та (2) вказав на низку недоліків у визначенні відповідних значень часу основного та проміжного тактів пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання: значення тривалості основного такту пішохідної фази (1) розраховується без урахування основних характеристик пішохідних потоків (інтенсивність, швидкість, щільність та віковий й статевий склади пішохідних потоків); значення тривалості основного такту пішохідної фази (1) розраховується тільки як час руху одного пішохода через перехід, а поява інших пішоходів не враховується; значення тривалості основного такту пішохідної фази (1) розраховується без урахування наявності руху зустрічних пішохідних потоків; не зрозумілий фізичний смисл константи 5 у формулі (1); значення тривалості проміжного такту пішохідної фази (2) має вказані вище недоліки та незрозуміла необхідність чотириразового зниження вказаної тривалості; значення швидкостей пішоходів у (1) та (2) повинні бути різні, бо стани пішохідних потоків упродовж основного такту та проміжного – різні. Таким чином формулюється наступна мета роботи.

Мета роботи

Метою роботи є уточнення методики розрахунку тривалості світлофорного циклу на пересіченнях міського типу на одному рівні з пішохідною фазою до рівня врахування кінематичних характеристик пішохідного руху в трьохфазному світлофорному регулюванні.

Основна частина

Пропонується обрати в якості основи розробки Кременця Ю.А. [1] щодо визначення тривалості циклу світлофорного регулювання. У розрахункову формулу тривалості циклу пропонується ввести відповідні складові для визначення параметрів пішохідної фази регулювання. Формула для визначення тривалості трьохфазного циклу світлофорного регулювання з пішохідною фазою буде мати наступний вигляд:

$$T_y = Y_1 \cdot T_y + t_{n_1} + Y_2 \cdot T_y + t_{n_2} + Y_n \cdot T_y + t_n^n, \quad (3)$$

$$Y' = \sum Y_i, \quad T_n' = \sum t_{n_i},$$

$$T_y = \frac{T_n'}{1 - Y'}, \quad (4)$$

де T_y – значення тривалості трьохфазного циклу світлофорного регулювання з пішохідною фазою, с;

Y_1, Y_2 – розрахункові фазові коефіцієнти відповідно для першої та другої фази регулювання, од.;

Y_n – розрахунковий фазовий коефіцієнт для пішохідної фази регулювання, од.;

t_{n_1}, t_{n_2} – значення тривалості проміжних тактів, відповідно для першої та другої фази регулювання, с;

t_n^n – значення тривалості проміжного такту пішохідної фази регулювання, с;

Y' – сумарний розрахунковий фазовий коефіцієнт для трьохфазного циклу з пішохідною фазою, од.;

T_n' – сумарний втрачений час на проміжні такти впродовж трьохфазного циклу регулювання з пішохідною фазою, с.

Дослідження Кременця Ю.А. [1] дозволили формулу тривалості циклу світлофорного регулювання з декількома фазами записати наступним чином з корегуванням щодо врахування нерівномірності прибуття транспортних засобів до пересічення за допомогою емпіричних коефіцієнтів:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_n + 5}{1 - Y}, \quad (5)$$

де Y – сумарний розрахунковий фазовий коефіцієнт для циклів регулювання без пішохідної фази, од.;

T_n – сумарний втрачений час на проміжні такти впродовж циклів регулювання без пішохідної фази, с.

З урахуванням (3), (4), (5) отримуємо запис тривалості циклу трьохфазного світлофорного регулювання з пішохідною фазою в наступному вигляді:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_n + t_n'' + 5}{1 - Y - Y_n}. \quad (6)$$

Для проведення безпосередніх розрахунків за формулою (6) необхідно розробити методики визначення t_n'' та Y_n .

Значення тривалості проміжного такту для пішохідної фази повинно розраховуватися виходячи з маневру звільнення території проїзної частини від пішоходів, який включає реакцію пішохода на переключення сигналів пішохідного світлофора із зеленого на червоний, рух по проїзній частині вулиці в змішаному стані пішохідних потоків, рух без змішаного стану пішохідних потоків та вихід із території проїзної частини. При цьому необхідно враховувати всі пішохідні переходи та наявні умови формування зустрічних потоків пішоходів. Проведені дослідження дозволили отримати наступне значення часу t_n'' :

$$t_n'' = \bar{t}_{pn_i} + \frac{(V_{mu}^{\max})_i}{(V'_{mu})_i + (V''_{mu})_i} \cdot B_{mu_i} \cdot \left[\frac{q'_i + q''_i}{N'_i + N''_i} \right] + \frac{B_{mu_i}}{(V'_{mu})_i + (V''_{mu})_i} + \frac{0,5}{(V_{mu}^{\min})_i}; \quad (7)$$

де \bar{t}_{pn_i} – час реакції пішохода на сигнал пішохідного світлофора, с [4];

$(V'_{mu})_i$, $(V''_{mu})_i$ – розрахункові швидкості пішоходів за i -м напрямком відповідно в зустрічних пішохідних потоках, м/с;

$(V_{mu}^{\max})_i$ – максимальне значення з розрахункових швидкостей пішоходів за i -м напрямком відповідно із зустрічних пішохідних потоків, м/с;

B_{mu_i} – ширина проїзної частини, що перетинається пішоходами в пішохідній фазі регулювання за i -м напрямком, м;

q'_i , q''_i – значення щільностей пішохідних потоків за i -м напрямком зустрічного руху на погонний метр пішохідного переходу, піш/м;

N'_i , N''_i – значення інтенсивностей пішохідних потоків за i -м напрямком зустрічного руху на пішохідному переході, піш/с;

0,5 – довжина особистого простору, м;

$(V_{mu}^{\min})_i$ – мінімальне значення з розрахункових швидкостей пішоходів за i -м напрямком, відповідно із зустрічних пішохідних потоків, м/с.

Максимальне значення (7) зі всіх напрямків пішохідних переходів, що задіяні в пішохідній фазі, буде дорівнювати необхідній довжині проміжного такту вказаної фази.

Проведені дослідження дозволили отримати наступне значення розрахункового фазового коефіцієнта для пішохідної фази регулювання Y_n :

$$Y_n = \frac{N'_i + N''}{2 \cdot M_{n_i}}, \quad (8)$$

де M_{n_i} – потік насичення для пішохідного переходу i -го напрямку в пішохідній фазі трьохфазного світлофорного регулювання з урахуванням одного із зустрічних рухів пішохідних потоків, піш/год;

N'_i, N'' – значення інтенсивностей пішохідних потоків за i -м напрямком зустрічного руху на пішохідному переході, піш/год.

Визначення M_{n_i} на практиці можливо тільки шляхом проведення натурних випробувань. Пропонується проводити дослідження наступним чином. Необхідно одночасно з включенням зеленого сигналу на пішохідному світлофорі включити секундомір та почати підрахунок пішоходів n_n , що виходять на проїзну частину з черги, яка утворилася впродовж червоного сигналу. Вимкнути секундомір після виходу на проїзну частину вулиці останнього пішохода черги та зафіксувати час t_c . Розділити кількість підрахованих пішоходів на час спостереження за ними.

Додатково пропонується вдосконалити організацію пішохідного руху в межах транспортних фаз регулювання шляхом уточнення методики розрахунку проміжного такту транспортної фази регулювання.

Пропонується наступна методика визначення тривалості проміжних тактів транспортних фаз світлофорного регулювання.

Методика визначення часу проміжного такту за характеристиками дорожнього руху в фазах світлофорного регулювання з жорстким програмним управлінням дозволяє виділити наступні етапи розрахунку.

Етап перший.

Збір вихідних даних для проведення розрахунків:

– креслення у відповідному масштабі схем пофазного роз'їзду за загальною схемою та циклограмою роботи світлофорного об'єкта;

– визначення наступного переліку даних:

R_r – радіус правого повороту, м;

R_l – радіус лівого повороту, м;

R_{rr} – максимальний радіус розвороту на площі пересічення, м;

l_n – ширина пішохідного переходу, м;

l', l'' – відстань між пішохідним переходом та початком повороту вліво, м;

Δ – відстань між розміткою 1.14.3 та 1.12, м;

α_r – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху вправо на площі пересічення, град.;

α_l – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху вліво на площі пересічення, град.;

α_r' – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху по радіусу повороту вправо на площі пересічення до умов сполучення з кривою розвороту, град.;

α_{rr} – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру розвороту на площі пересічення, град.;

$L_{a_{\max}}$ – максимальна габаритна довжина транспортного засобу в складі транспортного потоку на площі пересічення, м;

t_1 – час реакції водія на зміну сигналів світлофора, с [4];

t_2 – час спрацювання гальмівної системи, с [4];

t_3 – час зростання сповільнення транспортного засобу, с [4];

φ_x – поздовжній коефіцієнт зчеплення дорожнього покриття на площі пересічення, од.;

n_{a_i} – кількість транспортних засобів у черзі, що зібралась упродовж горіння червоного сигналу на відповідному напрямку руху, од.;

t_{k_i} – тривалість горіння червоного сигналу на відповідному напрямку руху, с;

q_i – щільність розташування транспортних засобів у черзі, що зібралась упродовж горіння червоного сигналу на відповідному напрямку руху, авт/100 м;

N_{r_i} – інтенсивність руху транспортного потоку на кривій повороту вправо, авт/с;

N_{l_i} – інтенсивність руху транспортного потоку на кривій повороту вліво, авт/с;

N_{pl_i} – інтенсивність руху транспортного потоку, що продовжує рух прямо та вліво після розділення на повороті вправо, авт/с;

N_{p_i} – інтенсивність руху транспортного потоку, що продовжує рух прямо, авт/с;

Δ_{r_i} – доля транспортних засобів із загального транспортного потоку, які здійснюють поворот вправо у відповідній точці розділення, од.;

Δ_{l_i} – доля транспортних засобів із загального транспортного потоку, які здійснюють поворот вліво у відповідній точці розділення, од.;

Δ_{pl_i} – доля транспортних засобів із загального транспортного потоку, які продовжують рух прямо та вліво після розділення на повороті вправо, од.;

Δ_{p_i} – доля транспортних засобів із загального транспортного потоку, які продовжують рух прямо у відповідній точці розділення, од.;

$\varphi_{y_{\min}}$ – мінімальний коефіцієнт бічного зчеплення коліс сукупності транспортних засобів, що визначають відповідний транспортний потік, із поверхнею покриття площі пересічення впродовж кривої траєкторій дозволеного руху відповідного проміжного такту світлофорного регулювання, од.;

β_{\min} – мінімальний кут бічного схилу поверхні покриття площі пересічення впродовж кривих траєкторій дозволеного руху відповідного проміжного такту світлофорного регулювання, град.;

$V_{p_{\min}}$ – мінімальна з максимальних швидкостей транспортних засобів у транспортному потоці, з умов виникнення бічного перекидання на відповідній кривій траєкторій дозволеного руху відповідного проміжного такту світлофорного регулювання, м/с;

$\eta_{k_{\min}}$ – коефіцієнт, що враховує поперечний крен підресорних мас транспортного засобу за рахунок наявності відцентрової сили, дорівнює 0,80 за даними [4];

B_{\min} – мінімальна колія коліс переднього та заднього мостів (візка) відповідного транспортного засобу в транспортному потоці, м;

$h_{g_{\max}}$ – максимальна висота центру тяжіння відповідного транспортного засобу в транспортному потоці, м (приймається за даними [4]).

Етап другий.

Проведення розрахунків значень часу виконання маневрів, що дозволені у відповідній фазі, визначається за наступними формулами:

1. Час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються прямо, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення:

$$t_{ppi} = t_{0i} + t_{kr_i} + t_{rl_i} + t_{pi},$$

$$t_{ppi} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3)_i + \frac{n_{av_i}}{t_{\kappa_i}} \cdot \frac{100}{2 \cdot g \cdot \varphi_x \cdot q_i} + \frac{n_{av_i} \cdot 100 \cdot (\Delta_i + l_{n_i})}{t_{\kappa_i} \cdot q_i} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i})}{100} \cdot \frac{l'}{\left(\frac{n_{av_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i}\right)} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i} - \Delta_{l_i})}{100} \cdot \frac{l_{m_i} - l' + l_n + L_{a_{\max}}}{\left(\frac{n_{av_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i} - N_{l_i}\right)}, \quad (9)$$

де t_{ppi} – час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються прямо, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення, с.

У разі наявності у відповідній фазі регулювання відсутності маневрів повороту вправо, вліво або обох, то у значення (9) відповідні величини підставляються зі значенням 0.

2. Час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються вправо, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення:

$$t_{rri} = t_{0i} + t_{kr_i} + t_{ri},$$

$$t_{rri} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3)_i + \frac{n_{av_i}}{t_{\kappa_i}} \cdot \frac{100}{2 \cdot g \cdot \varphi_x \cdot q_i} + \frac{n_{av_i} \cdot 100 \cdot (\Delta_i + l_{n_i})}{t_{\kappa_i} \cdot q_i} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{pl_i})}{100} \cdot \frac{\frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + l_n + L_{a_{\max}}}{\left(\frac{n_{av_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{pl_i}\right)}, \quad (10)$$

де t_{rri} – час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються вправо, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення, с.

У разі наявності у відповідній фазі регулювання відсутності маневрів продовження руху прямо, то у значення (10) відповідні величини підставляються зі значенням 0.

3. Час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються вліво, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення:

$$t_{li} = t_{0i} + t_{kr_i} + t_{rl_i} + t_{li},$$

$$t_{ll_i} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3)_i + \frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} \cdot \frac{100}{2 \cdot g \cdot \phi_x \cdot q_i} + \frac{n_{ae_i} \cdot 100 \cdot (\Delta_i + l_{n_i})}{t_{\kappa_i} \cdot q_i} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i})}{100} \cdot \frac{l'}{\left(\frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i}\right)} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i} - \Delta_{p_i})}{100} \cdot \frac{\frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + l'' + l_n + L_{a_{max}}}{\left(\frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i} - N_{p_i}\right)}, \quad (11)$$

де t_{ll_i} – час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються вліво, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення, с.

У разі наявності у відповідній фазі регулювання відсутності маневрів продовження руху прямо та вправо, то у значення (11) відповідні величини підставляються зі значенням 0.

4. Час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухаються на розворот, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до пересічення:

$$t_{rv_i} = t_{0i} + t'_{kr_i} + t'_{rl_i} + t'_{li} + t_{rr_i},$$

$$t_{rv_i} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3)_i + \frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} \cdot \frac{100}{2 \cdot g \cdot \phi_x \cdot q_i} + \frac{n_{ae_i} \cdot 100 \cdot \left(\Delta_i + l_{n_i} + \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r\right)}{t_{\kappa_i} \cdot q_i} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i})}{100} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{rr}}{\left(\frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i}\right)} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i} - \Delta_{p_i})}{100} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{rr}}{\left(\frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i} - N_{p_i}\right)} + \frac{q_i \cdot (1 - \Delta_{r_i} - \Delta_{p_i} - \Delta_{l_i})}{100} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{rk} + \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r + l_n + L_{a_{max}}}{\left(\frac{n_{ae_i}}{t_{\kappa_i}} - N_{r_i} - N_{p_i} - N_{l_i}\right)}. \quad (12)$$

У разі наявності у відповідній фазі регулювання відсутності маневрів продовження руху прямо, вправо, вліво, то у значення (12) відповідні величини підставляються зі значенням 0.

Етап третій.

Перевірка значень швидкостей руху на кривих частинах траєкторій маневрів на предмет відсутності перевищення максимальних значень швидкостей виникнення бічного ковзання та перекидання транспортного засобу.

Етап четвертий.

Вибір з отриманих розрахункових значень часу роз'їзду транспортних засобів за дозволеними траєкторіями у відповідній фазі регулювання максимального значення, яке є тривалістю проміжного такту:

$$\begin{cases} t_{pp_i}, \\ t_{rr_i}, \\ t_{ll_i}, \\ t_{rv_i}, \end{cases} \rightarrow \max = t_n$$

Висновки

У роботі проведено вдосконалення методики розрахунку тривалості світлофорного циклу на пересіченнях міського типу на одному рівні з пішохідною фазою до рівня врахування кінематичних характеристик пішохідного руху в трьохфазному світлофорному регулюванні при розрахунку параметрів пішохідної фази.

Синтезовано методику організації пішохідного руху у відповідних транспортних фазах світлофорного регулювання шляхом розрахунку відповідних проміжних тактів. Надалі необхідно провести експериментальну перевірку методики організації пішохідного руху на перехрестях доріг з трьохфазним світлофорним регулюванням.

Список літератури

1. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 255 с.
2. Собакаръ А.О. Освітня діяльність у сфері безпеки дорожнього руху: проблеми та напрямки удосконалення системи підготовки водіїв / А.О. Собакаръ // Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ. – 2006. – № 3. – С. 216–224.
3. Зеркалов Д.В. Безпека руху автомобільного транспорту: довідник / Д.В. Зеркалов, П.Р. Левковец, О.І. Мельниченко, О.М. Дмитрієв. – К.: Основа, 2002. – 360 с.
4. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.

Рецензент: к.т.н., доц. А.В. Толок, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 07.06.12
© Дудніков О.М., Пархоменко К.О., 2012